

## 温室大棚用无轮耕耘机的研制

孙星钊<sup>①</sup> 宋建农 杨海燕

(中国农业大学机械工程学院) (新疆农业大学)

**摘要** 针对目前温室大棚用小型机具存在的问题,根据“旋耕自走”原理,研制出 TY-300 型无轮耕耘机。试验结果表明,该机结构简单,操作、调整方便,可消除漏耕,各项性能指标均超过国内同类机型,满足了国内温室大棚内耕耘作业的要求。

**关键词** 无轮耕耘机;温室;设计

**中图分类号** S222.3

## Research of No-wheel Cultivator for Greenhouse

Sun Xingzhao Song Jiannong Yang Haiyan

(College of Machinery Engineering, CAU) (Xinjiang Agricultural University)

**Abstract** Based on the theory of self-propelled rotary tilling, TY-300 No-wheel Cultivator used in greenhouse is developed. The experiments show that the no-wheel cultivator has the advantages of simple structure, easy to operate and remove the leakage of cultivation. Every technical index have surpassed the advanced level of the domestic products.

**Key words** no-wheel cultivator; greenhouse; design

随着设施农业的发展,温室等保护地作业所需的小型动力机及作业机具,无论在研制上还是生产上都远远落后于生产作业的需要。目前还没有系统的基础理论支持小型动力机具的设计,已开发的小型动力机具有的操纵机构不能多方位调节,致使操作不便、转弯半径大;有的旋耕方式仍为后置式,整地不能达边到埂;有的虽为无轮旋耕,但机器太重或太轻,作业效果较差。另外,所有与小型动力机具配套的动力多为柴油机型,而且废气在棚室内不能及时排出,造成污染较大。因此,研制结构轻巧、可在棚室有限空间内进行多种轻度作业的小型动力机具十分必要。

笔者研制的新型无轮耕耘机主要由发动机(汽油机)、变速箱、机架、旋耕器、阻力铲和操纵系统等组成。在探讨无轮耕耘机的基本设计理论的基础上,确定了机器的结构参数和运动参数,并对机器的结构进行了优化设计。

### 1 耕耘基本设计理论要点

无轮耕耘机的主要特征是利用“旋耕自走”原理,将动力输出轴的功率直接变为旋耕刀辊的扭矩,利用刀辊上的  $n$  把刀片来旋切、破碎土壤进行耕耘作业,由土壤反作用力推动机器前

收稿日期:1997-07-26

①孙星钊,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)50信箱,100083

进。另外,利用调节机具后端阻力棒或阻力铲入土的深浅,并通过操作人员改变其对操纵手柄压力的增减力矩来改变阻力的大小,使旋耕刀辊有不同的滑转率,从而得到不同的耕深、前进速度、生产率和碎土质量。这样,机具的动力传动装置大大简化,机械效率提高,转弯半径减小,机具的结构尺寸缩短、质量减小,机具的成本降低。通过分析、推导和计算建立了无轮耕耘机的基本设计理论体系及诸特性与各参数间的关系。

### 1.1 耕耘刀齿的运动轨迹

设以无轮耕耘机刀辊轴心在某一时刻的位置点  $o$  为坐标原点(如图1所示),机器前进方向为横坐标  $x$  轴的正向,向下为纵坐标  $y$  轴的正向,当经过了时间  $t$  后,刀片端点  $M$  运动到  $M'(x, y)$ 。设刀片半径为  $r$ , 刀轴旋转角速度为  $\omega$ , 机器前进速度为  $v_m$ , 则刀片端点  $M$  的运动轨迹的参数方程为

$$\left. \begin{aligned} x &= v_m t + r \cos \omega t \\ y &= r \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

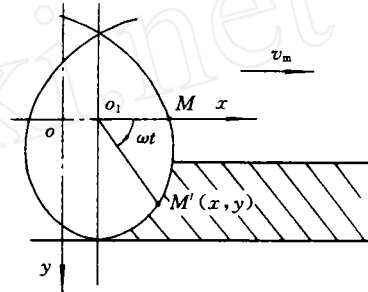


图1 刀齿运动轨迹

### 1.2 刀齿的切削速度

刀齿的端点在旋转1周的过程中所经各处的速度是不同的,将方程(1)对时间  $t$  求导,即得到点  $M'$  在  $x$  轴和  $y$  轴的分速度

$$\begin{aligned} v_x &= dx/dt = v_m - r\omega \sin \omega t \\ v_y &= dy/dt = r\omega \cos \omega t \end{aligned}$$

### 1.3 切土进距

无轮耕耘机的刀辊上均布安装了  $z$  把刀齿,则刀辊旋转1周时,刀齿相继切土的时间间隔为  $t = 2\pi/z\omega$ , 在此时间内,机器前进的距离即为切土进距  $s$ 。有

$$s = \frac{2\pi r}{z} \cdot \frac{v_m}{u} = 6 \times 10^3 \frac{v_m}{zn}$$

式中: $v_m$  为机器前进速度,  $m \cdot s^{-1}$ ;  $n$  为刀辊转速,  $r \cdot \min^{-1}$ ;  $r$  为弯刀回转半径,  $mm$ ;  $z$  为同一旋转切削面内的弯刀数;  $u$  为刀辊圆周线速度,  $m \cdot s^{-1}$ 。

### 1.4 耕耘所需平均扭矩

无轮耕耘所需扭矩主要由2部分构成,即切削和破碎土壤所需扭矩与抛出被切削土块所需扭矩。由于扭矩受到土壤的土质、坚硬度和温度等土壤条件,切土进距、耕速、耕深等耕耘条件以及旋耕刀的类型、尺寸、排列方式等条件的影响,要进行精确的确定十分困难。通过试验得到实测的耕耘所需扭矩的特性曲线,据此用平均值法建立如下计算耕耘所需平均扭矩的经验公式:

$$T_m = 0.158zshk \quad (2)$$

式中: $h$  为耕深,  $cm$ ;  $k$  为耕耘比阻,对于北京地区普通砂壤土,  $k = 4.0 \sim 6.0 N \cdot cm^{-2}$  ( $h = 10 \sim 12 cm$  时)和  $6.0 \sim 8.5 N \cdot cm^{-2}$  ( $h = 12 \sim 14 cm$  时)。

### 1.5 耕耘所消耗的平均功率

$$P_m = 9.98 \times 10^{-2} B h v k$$

式中: $P_m$  为耕耘所消耗的平均功率,  $kW$ ;  $B$  为全耕幅,  $m$ ;  $v$  为耕作速度,  $m \cdot s^{-1}$ 。

## 1.6 无轮耕耘机作业时的总体受力状况

无轮耕耘机作业时受力状况如图2所示。其受力平衡方程式如下：

$$\left. \begin{aligned} F_x &= Q_x \\ F_y &= G + Q_y \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

图2中： $G$ 为无轮耕耘机的重力； $F_y$ 为垂直分力； $F_x$ 为水平分力； $Q_x$ 为阻力铲工作阻力的水平分力； $Q_y$ 为阻力铲工作阻力的垂直分力； $F'$ 为操作人员在手把上施加的作用力。

从式(3)和图2可知，无轮耕耘机作业时刀辊受到的土壤阻力的合力向前和向上，一方面推动机器前进，另一方面阻止刀齿入土；因此，为了使刀齿能够入土切削，并保持耕深稳定性，机器应符合以下条件： $G > F_y (= F \sin \alpha)$ 。

设定刀辊工作阻力合力  $F$  近似地取耕耘所需平均扭矩与力作用点旋转半径之比，即  $F \approx T_m / r'^{[1]}$ ，再根据式(2)得出  $F_y = T_m \sin \alpha / r'$ 。现根据入土条件，取  $G = \beta F_y$ 。在保证机器作业性能的同时还要考虑机器在棚室内作业适应性，经计算和试验取  $\beta = 1.05 \sim 1.15$ 。所以

$$G = \beta \frac{T_m}{r'} \sin \alpha = \beta \frac{P \sin \alpha}{1.05 n B r'} \times 10^4$$

式中： $\alpha$ 为刀辊工作阻力的合力  $F$  与水平线的夹角， $\alpha = 35^\circ \sim 50^\circ$ ； $r'$ 为耕耘力作用点的旋转半径， $r' = (0.85 \sim 0.92)r^{[1]}$ 。

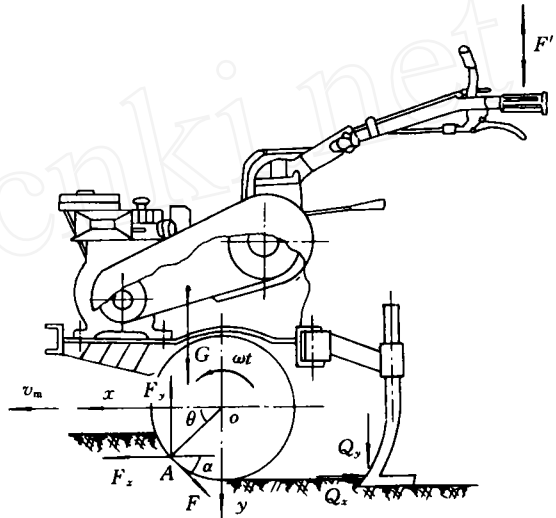


图2 无轮耕耘机作业时的总体受力

## 2 无轮耕耘机的作业性能和结构参数的优化设计

为保证无轮耕耘机在狭窄棚室内有限地块作业的适应性、灵活性和作业质量，应全面、合理地选择机器质量、重心位置、阻力铲距离、刀片排列和操作尺寸等重要结构参数值。作业性能与结构参数间的关系见表1。

结构及参数值的优化设计主要体现在以下几方面：

- 1) 变速箱底部宽只有40 mm，这样既消除了漏耕又使摩擦阻力减小；
- 2) 首次采用内六方管作为刀辊轴，方便了幅宽的调整；
- 3) 扶手架操作系统全部采用软线联接，并首次采用套筒挂钩装置，使扶手架可作上下、左右任意调节，全方位地满足了棚室内的作业要求；
- 4) 以汽油机作动力，减少了棚室内的环境污染，并使整机质量减小；
- 5) 重心位置以设定在驱动轴上前方20~30 mm处为宜，阻力铲中心至机器重心的距离以250~300 cm为好，最大静止横向翻倾角为38°，最大侧滑角为31°。

表1 碎土级别、刀辊转速  $n$ 、作业速度  $v$  与切土进距  $s$  的关系

碎土级别		$n/(r \cdot \text{min}^{-1})$	$v/(m \cdot s^{-1})$			
			0.18	0.28	0.41	0.56
		$s/\text{mm}$				
低	粗	52	104	<b>162</b>	<b>242</b>	<b>323</b>
	细	70	77	120	<b>180</b>	<b>240</b>
高	粗	102	53	82	124	<b>164</b>
	细	144	38	58	88	117

说明:1)直弯刀,刀片回转半径  $r=195\text{ mm}$ 。2)在对应的作业速度下,黑体数字表示不能采用的切土进距。3)为降低耕耘所需的功率,切土进距必要时可加大一些,但不能超过  $150\text{ mm}$ 。

### 3 试验结果

试验在中国农业大学(东校区)试验田的温室大棚内进行。土壤类型为旱作砂壤土,含水率为  $18.2\%$ ,密度为  $1.83\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,坚实度为  $70 \sim 80\text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

试验结果表明,使用 TY-300 型无轮旋耕机作业,平均耕深为  $11.53\text{ cm}$ ,碎土率为  $97.8\%$ ,耕后土壤平整度为  $1.8\text{ cm}$ ,平均牵引力为  $888\text{ N}$ ,均达到了设计指标,满足了棚室蔬菜栽培的农艺要求。其主要技术经济指标如下:外形尺寸  $155\text{ cm} \times 86\text{ cm} \times 105\text{ cm}$ ;旋耕幅宽  $80\text{ cm}$ ,耕深  $12\text{ cm}$ ;生产率  $2.2\text{ hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ ;油耗  $3.73\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;发动机,165F 型汽油机,额定功率  $2.94\text{ kW}$ ,额定转速  $1500\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,燃油耗量  $235\text{ g}(\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ ;结构质量  $85\text{ kg}$ ;耕作方式,无轮;扶手架可调。可见,这些指标均优于国内同类机型。

### 参 考 文 献

- 1 长广仁藏. 旋耕拖拉机基本理论. 洛阳拖拉机研究所译. 北京:机械工业出版社,1978. 20~40
- 2 北京农业工程大学主编. 农业机械学. 北京:农业机械出版社,1981. 30~60